

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-014845

(43)Date of publication of application : 22.01.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/122  
G02B 6/13

(21)Application number : 09-166189

(71)Applicant : NOK CORP

(22)Date of filing : 23.06.1997

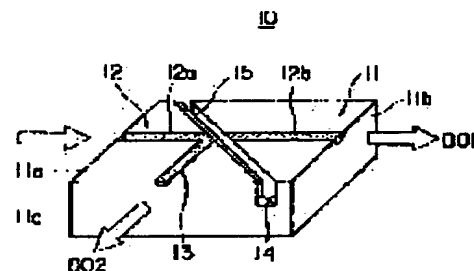
(72)Inventor : TAKATSU ICHIRO  
TOYAMA JIRO  
YAMADA TAKESHI  
KUBOTA YASUHIRO  
USHIJIMA SHINJI

## (54) OPTICAL BRANCH WAVEGUIDE AND ITS MANUFACTURE, AND OPTICAL WAVEGUIDE CIRCUIT

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical branch waveguide and an optical waveguide circuit which are easy to manufacture, small in size and low in cost.

SOLUTION: On a substrate 11, two 1st and 2nd linear optical waveguides 12 and 13 are formed crossing each other at a specific angle and a groove 14 which has a specific angle to the optical waveguides and is deeper than the 1st and 2nd optical waveguides 12 and 13 is formed including the intersection area of the 1st and 2nd optical waveguides 12 and 13; and an optical element 15 having a partial reflecting and partial transmitting function which transmits part of incident light guided in the 1st optical waveguide 12a to guide it to the 1st optical waveguide 12b and also reflects part of the incident light to guide it to the 2nd optical waveguide 13 is formed on one side wall of the groove while including the intersection area of the 1st and 2nd optical waveguides 12 and 13 at least in the groove 14.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

29.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 1 1 - 1 4 8 4 5

(43) 公開日 平成11年(1999)1月22日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
G 0 2 B 6/122  
6/13

識別記号

F I  
G 0 2 B 6/12 D  
M

審査請求 未請求 請求項の数 1 3 O L

(全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-166189

(22) 出願日 平成9年(1997)6月23日

(71) 出願人 000004385

エヌオーケー株式会社

東京都港区芝大門1丁目12番15号

(72) 発明者 高津 一郎

茨城県つくば市和台25 エヌオーケー株式  
会社内

(72) 発明者 外山 二郎

茨城県つくば市和台25 エヌオーケー株式  
会社内

(72) 発明者 山田 武司

茨城県つくば市和台25 エヌオーケー株式  
会社内

(74) 代理人 弁理士 佐藤 隆久

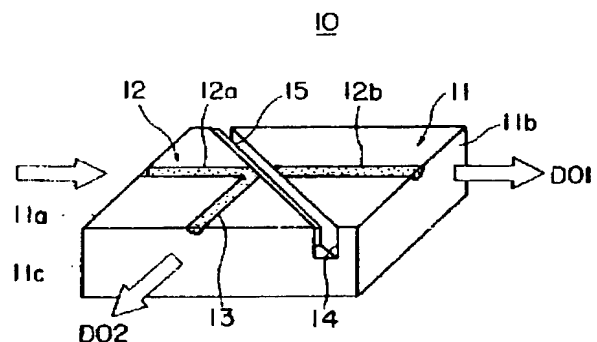
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光分岐導波路およびその製造方法、並びに光導波路回路

(57) 【要約】

【課題】 製作が容易な小型で低コストの光分岐導波路および光導波路回路を提供する。

【解決手段】 基板 1 1 に対して、直線状をなす 2 本の第 1 の光導波路 1 2 および第 2 の光導波路 1 3 を、所定の角度で交差させて形成し、第 1 の光導波路 1 2 と第 2 の光導波路 1 3 との交差領域を含むように、光導波路と所定の角度をなし、深さが第 1 および第 2 の光導波路 1 2、1 3 の深さ以上に設定した溝 1 4 を形成し、溝 1 4 の一側壁 1 4 a には、少なくとも溝 1 4 の第 1 の光導波路 1 2 と第 2 の光導波路 1 3 との交差領域を含むように、第 1 の光導波路 1 2 a を導波された入射光の一部を透過させて第 1 の光導波路 1 2 b に導波させるとともに、入射光の一部を反射して第 2 の光導波路 1 3 に導波させる部分反射・部分透過機能を有する光学素子 1 5 を形成した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板 (11) と、  
上記基板 (11) に形成された第 1 の光導波路 (12) と、  
上記基板 (11) に上記第 1 の光導波路 (12) と所定の角度をもって交差するように形成された第 2 の光導波路 (13) と、  
上記基板 (11) の少なくとも上記第 1 の光導波路 (12) と上記第 2 の光導波路 (13) との交差領域に形成された溝 (14) と、  
少なくとも上記溝 (14) の上記第 1 の光導波路 (12) と上記第 2 の光導波路 (13) との交差領域における一側面 (14a) に設けられ、第 1 の光導波路 (12a) を導波された入射光の一部を透過させて当該第 1 の光導波路 (12b) に導波させるとともに、上記入射光の一部を反射して上記第 2 の光導波路 (13) に導波させる光学素子 (15) とを有する光分岐導波路。  
【請求項 2】 上記溝と光導波路とは、上記第 1 の光導波路から入射された光の上記光学素子による光反射角度と、上記第 2 の光導波路が上記第 1 の光導波路となす角度とが一致するように形成されている請求項 1 記載の光分岐導波路。  
【請求項 3】 上記光学素子は、導波光に対して透明な有機フィルムに光学薄膜が形成されて構成されている請求項 1 または 2 記載の光分岐導波路。  
【請求項 4】 上記光学素子は、導波光に対して透明な無機材料からなる薄板に光学薄膜が形成されて構成されている請求項 1 または 2 記載の光分岐導波路。  
【請求項 5】 上記光学薄膜は、多層干渉膜または金属膜である請求項 4 または 5 記載の光分岐導波路。  
【請求項 6】 上記基板は、電気光学効果を有する部材からなる請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載の光分岐導波路。  
【請求項 7】 上記基板は、圧電効果を有する部材からなる請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載の光分岐導波路。  
【請求項 8】 上記光学素子の光を透過および反射させる光分岐比が 1 : 1 である請求項 1 ～ 7 のいずれかに記載の光分岐導波路。  
【請求項 9】 請求項 1 ～ 8 に記載の光分岐導波路を少なくとも一組有し、その入力部または出力部の少なくとも一つの光導波路に他の光分岐導波路の光導波路を接続した光導波路回路。  
【請求項 10】 請求項 7 に記載の光分岐導波路を少なくとも一組有し、光導波路の一部に電気光学効果を発現させる電界を印加するための電極を有する光導波路回路。  
【請求項 11】 請求項 8 に記載の光分岐導波路を少なくとも一組有し、光導波路の一部に圧電効果を発現させる電界を印加するための電極を有する光導波路回路。  
【請求項 12】 請求項 5 に記載の光分岐導波路の製造

方法であって、  
上記光学素子は、溝形成後、当該溝の一側面に形成されるように上記基板を傾斜させて蒸着またはスパッタリングを行うことにより形成する光分岐導波路の製造方法。

【請求項 13】 請求項 5 に記載の光分岐導波路の製造方法であって、

あらかじめ基板の表面に剥離可能な膜を形成し、  
上記溝を形成した後、  
当該溝の一側面に光学素子が形成されるように上記基板を傾斜させて蒸着またはスパッタリングを行い、  
その後、基板表面の上記剥離可能な膜を剥離除去することで、基板表面に形成された蒸着またはスパッタリング膜を除去する光分岐導波路の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、たとえば光通信網や自動車等の光配線部品、あるいは産業用機器の光信号処理、光制御、光計測の光配線基板として用いられる光分岐導波路および光導波路回路、並びに光分岐導波路の製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光分岐導波路は、光ファイバ通信網の家庭端末配線の重要な光配線部品として、また、光ファイバ信号処理技術を応用した自動車の光配線、産業用機器の光信号処理、光制御、光計測の光配線基板として利用されている。

【0003】 このような光分岐導波路は、一般的には、いわゆる Y 分岐として図 7 に示すように、たとえばニオブ酸リチウムからなる基板 1 に、一端側端面から光が入射される直線状の入力導波路 2、および入力導波路 1 の他端側に対して所定角度をもって接続された 2 本の出力導波路 3、4 が形成されて構成される。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上記の Y 分岐導波路は、通常シングルモード光を導波させるように設計される。このため、その接続部の形状、導波路の曲率、導波路長に設計上の制約があり、その回路長は長くなる。以下に、Y 分岐導波路の回路長が長くなる理由について、図 8 に関連付けて説明する。

【0005】 たとえば、ニオブ酸リチウムを使用した光分岐導波路の場合、シングルモードを維持しながら分岐するための分岐角が約 1 度と非常に小さく、入力導波路 2 と二つの出力導波路 3、4 とはほとんど直線状に接続される。また、導波路のコアとクラッドの屈折率の差を小さくしてシングルモード導波路としていることから、その 1 度の勾配を入力導波路 2 に平行な導波路として矩形基板 1 の端面に直交して引き出すためには、光の導波路外への漏洩を防ぐために、図 8 に示すように導波路の曲率 R を 50mm 以上にする必要がある。このため、曲率部として 5mm ～ 10mm の長さを必要とする。さらに、導

波路の接続部では導波路幅が一入力導波路側からみて 2 倍になり、単純に接続すると、光の反射や伝送モードの変換により伝送損失が増大する。このため、接続部をテーパにしてゆるやかに伝送モードを変換するための余分な長さ数 mm が必要になる。また、二分岐導波路側から直線状の入力導波路へ信号を伝送するためには接続点での伝送モードの乱れを緩和するために、直線状の入力導波路も一定以上の長さが必要となる。具体的には 3 mm 以上が必要になる。したがって、上述した Y 分岐導波路では、全長が約 15 mm 以上になる。この長さでは、基板 1

【0006】一見この形状は小さく感じられるが、導波路幅が約  $5\ \mu\text{m}$  と半導体素子レベルであることを考慮すると、その幅の 3000 倍もの曲線を含む複雑な微細加工が必要であることになり、その加工精度は半導体素子を加工する以上の均一性が要求され、高いコストを要する。さらに、接続部の形状は、分岐特性、損失に影響するため、特に分岐中央錐状部は  $0.1\ \mu\text{m}$  程度の加工精度が必要になり、これもさらに高精度加工が必要となり、コストの増大を招く。

【0007】また、コストの低減のためには、一枚の材料基板から採れる素子数をより多くすることが必要だが、このサイズでは通常の半導体素子と比較して非常に少ない収量になる。一般に、光部品の製作には 3 インチ基板が用いられるが、上述した例では一基板から採れる部品数は百個以下と少なく、生産性が低く、コスト高である。これは同様な工程をとる多くの半導体素子が 1 mm 角以下であることと比較して考えると、非常に生産性が悪く、コスト高である。

【0008】また、この Y 分岐導波路を多段接続して  $1 \times 4$ 、 $1 \times 8$ 、 $1 \times 16$ 、 $\dots$ 、 $1 \times n$  の分岐回路を形成するとさらに収量が低下し、コストが上がり、また均一加工精度がより要求され、歩留りが低下するだけでなく、基板の大きさの制約により、部品製作が不可能になることにもなる。

【0009】以上説明したように、現在の光分岐導波路は、家庭端末用部品として実用化するには、その形状の複雑さ、寸法の大きさの点で生産性、コストの面で大きな不利益がある。

【0010】本発明は、かかる事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、製作が容易な小型で低コストの光分岐導波路および光導波路回路を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の光分岐導波路は、基板と、上記基板に形成された第 1 の光導波路と、上記基板に上記第 1 の光導波路と所定の角度をもって交差するように形成された第 2 の光導波路と、上記基板の少なくとも上記第 1 の光導波

路と上記第 2 の光導波路との交差領域に形成された溝と、少なくとも上記溝の上記第 1 の光導波路と上記第 2 の光導波路との交差領域における一側面に設けられ、第 1 の光導波路を導波された入射光の一部を透過させて当該第 1 の光導波路に導波させるとともに、上記入射光の一部を反射して上記第 2 の光導波路に導波させる光学素子を有する。

【0012】また、本発明では、上記溝と光導波路とは、上記第 1 の光導波路から入射された光の上記光学素子による光反射角度と、上記第 2 の光導波路が上記第 1 の光導波路となす角度とが一致するように形成されている。

【0013】また、本発明では、上記光学素子は、導波光に対して透明な有機フィルムに光学薄膜が形成されて構成されている。あるいは、上記光学素子は、導波光に対して透明な無機材料からなる薄板に光学薄膜が形成されて構成されている。そして、上記光学薄膜は、多層干渉膜または金属膜により構成される。また、上記光学素子の光を透過および反射させる光分岐比が  $1:1$  である。

【0014】また、本発明では、上記基板は、電気光学効果を有する部材、あるいは圧電効果を有する部材により構成される。

【0015】本発明の光導波路回路は、上述した光分岐導波路を少なくとも一組有し、その入力部または出力部の少なくとも一つの光導波路に他の光分岐導波路の光導波路が接続されている。

【0016】また、本発明の光導波路回路は、基板として電気光学効果を有する光分岐導波路を少なくとも一組有し、光導波路の一部に電気光学効果を発現させる電界を印加するための電極を有する。

【0017】また、本発明の光導波路回路は、基板として圧電効果を有する光分岐導波路を少なくとも一組有し、光導波路の一部に圧電効果を発現させる電界を印加するための電極を有する。

【0018】本発明の光分岐導波路の製造方法では、多層干渉膜または金属膜により構成される光学素子は、溝形成後、当該溝の一側面に形成されるように上記基板を傾斜させて蒸着またはスパッタリングを行うことにより形成する。

【0019】本発明の光分岐導波路の製造方法では、多層干渉膜または金属膜により構成される光学素子の形成に際し、あらかじめ基板の表面に剥離可能な膜を形成し、上記溝を形成した後、上記溝の一側面に光学素子が形成されるように上記基板を傾斜させて蒸着またはスパッタリングを行い、その後、基板表面の上記剥離可能な膜を剥離除去することで、基板表面に形成された蒸着またはスパッタリング膜を除去する。

【0020】本発明の光分岐導波路によれば、Y 分岐導波路のように複雑なテーパ形状の光導波路部分、大半徑

の曲線導波路部分を要せず、光出力端部は光ファイバが接続できるように分離され、形状は従来の部品に較べ小型になる。また、比較的大きな交差角で製作されることから、分岐部の形状は比較的容易に得られる。また、損失、分岐比といった部品の特性は、部分透過・部分反射機能を有する光学素子に依存することから、特性の管理が容易になる。さらに、本光分岐導波路は、その機能の基本となる  $1 \times 2$  の光分岐導波路回路として用いられることは当然であるが、この機能を基板上に複数配置した  $1 \times N$  の光分岐導波路回路、他の光導波路回路と複合した光導波路回路、これに電気光学効果、圧電効果、表面弾性波効果を利用した光機能デバイスとして利用可能である。

#### 【0021】

【発明の実施の形態】図1および図2は、本発明に係る光分岐導波路の一実施形態を示す図であって、図1は実体構成を示す斜視図、図2は上面図である。

【0022】図に示すように、本光分岐導波路10は、たとえば使用波長に透明な基板11に対して、直線状をなす2本の第1の光導波路12および第2の光導波路13が、所定の角度、たとえば数十から90度の比較的大きな角度で交差させて形成されている。また、基板11には、第1の光導波路12と第2の光導波路13との交差領域を含むように、光導波路と45度の角度をなし、幅が約30 $\mu$ m幅で、深さが第1および第2の光導波路12、13の深さ以上、たとえば10 $\mu$ m以上に設定された溝14が形成されている。そして、溝14には、少なくとも溝14の第1の光導波路12と第2の光導波路13との交差領域における一側面14aに、第1の光導波路12aを導波された入射光の一部を透過させて第1の光導波路12bに導波させるとともに、入射光の一部を反射して第2の光導波路13に導波させる部分反射・部分透過機能を有する光学素子15が形成されている。

【0023】第1の光導波路12の一端面が基板11の第1側面11aに臨み、この第1の光導波路12の一端面により光入射部が構成されている。また、第1の光導波路12の他端面が基板11の第2側面11bに臨み、第2の光導波路13の一端面が第1の光導波路12aの一部と交差し、第2の光導波路13の他端面が基板11の第3側面11cに臨むように構成されている。そして、第1の光導波路12の他端面および第2の光導波路13の他端面により分岐光DO1、DO2の光出射部が構成されている。

【0024】すなわち、図1および図2に示す光分岐導波路10では、第1の光導波路12の図中溝14を境にして左側部分12aにより入力導波路が構成され、第1の光導波路12の図中溝14を境にして右側部分12bおよび第2の光導波路13により分岐導波路が構成されている。

【0025】なお、溝14と光導波路とは、第1の光導

波路12から入射された光の光学素子15による光反射角度と、第2の光導波路13が第1の光導波路12となす角度とが一致するように形成されている。

【0026】また、部分反射・部分透過機能を有する光学素子15は、たとえば導波光に対して透明な有機フィルムに光学薄膜が形成されて構成され、あるいは導波光に対して透明な無機材料からなる薄板に光学薄膜（半透過反射膜）が形成されて構成される。そして、光学薄膜は、たとえば多層干渉膜または金属膜により構成される。

【0027】次に、上記光分岐導波路10の製造方法について簡単に説明する。なお、ここでは、光導波路として基板上に形成したポリマ導波路を用いる場合を示す。

【0028】まず、Siウエハ上にたとえば図3に示すようにクラッド層121aとしてコア層122より屈折率の低いポリマ、およびコア層のポリマをスピンコート等により塗布する。それぞれの膜厚は最終的な導波路幅と膜厚の関係からシングルモード導波路となるように設計する。たとえば、コア層2 $\mu$ m、クラッド層3 $\mu$ mに設定される。この上に十字に交差した3~6 $\mu$ m好ましくは4~5 $\mu$ m幅のレジストパターンニングをホトリソグラフィ工法により形成し、これを酸素ガス中でRIE処理してコア層のみをエッチングしてレジスト形状幅とコア層膜厚の矩形形状の光導波路を形成する。その後、その表面に再びクラッド層121bをスピンコート等により形成する。

【0029】次に、ダイシングソーで約30 $\mu$ mのメタルブレードを使用し直交する光導波路と45度の角度で基板に垂直な深さ10 $\mu$ m以上の溝14を形成する。

【0030】次に、溝14の一方の側壁14aに、それぞれの光導波路に対して所望の光分岐比を得るために、多層干渉膜、金属膜等の光学薄膜からなる部分反射・部分透過膜15を形成する。この部分反射・部分透過膜15の形成に際しては、部分反射・部分透過膜15が溝14の一方の側壁14aに形成されるように、図3に示すように、光導波路基板11を傾斜させて、多層干渉膜、金属膜等の光学薄膜を蒸着またはスパッタリングする。その後、導波路に直角に交差点を含む矩形形状にダイシングソーを用いて光導波回路を切り出す。

【0031】なお、あらかじめSi基板に光ファイバの接続に用いるV溝をエッチングにより形成させておくことにより、ファイバの位置合わせ、部品作製工程減を図れ、接続工程の簡素化が可能となる。

【0032】工業的に生産する場合には、たとえば3インチの基板全面に、たとえば1mmピッチの直交する網状の光導波路を形成した後、その光導波路に格子の交点を通る導波路に45度をなす溝を全面に加工する。そして、部分反射・部分透過膜が溝の一方の側壁に形成されるように、光導波路基板を傾斜させて、多層干渉膜、金属膜等の光学薄膜を蒸着またはスパッタリングする。し

かる後、これをダイシング用支持膜に張りつけ、ダシニングソーで格子の中間点を通る導波路に直角（平行）直線で切断して多数個の光分岐導波路を得ることができる。

【0033】また、45度半透過反射膜の形成には、空間光学系におけるハーフミラーの作製技術が利用される。

【0034】なお、上記した例の工程は、本素子作製の一つの例であり、工程順に変更、接着剤の塗布方法、導波路の材料、導波路形成方法はそれぞれの材料、目的仕様により変更しても、本発明の主旨を損なうものではない。

【0035】以上のようにして製造される光分岐導波路10においては、入射光INが第1の光導波路12aに導波される。この入射光は、第1の光導波路12aを伝搬して溝14に挿入されている光学素子15に到達する。光学素子15では、導波光の一部が透過して再度第1の光導波路12bに導波され、その他端面から第1の分岐光DO1として出射される。また、残りの導波光の一部あるいは全部は、光学素子15で反射されて第2の光導波路13に導波され、その他端面から第2の分岐光DO2として出射される。

【0036】以上説明したように、本実施形態によれば、使用波長に透明な基板11に対して、直線状をなす2本の第1および第2の光導波路12、13を、所定の角度で交差させて形成し、第1の光導波路12と第2の光導波路13との交差領域を含むように、光導波路と所定の角度をなし、深さが第1および第2の光導波路12、13の深さ以上に設定した溝14を形成し、溝14の一側壁14aには、少なくとも溝14の第1の光導波路12と第2の光導波路13との交差領域を含むように、第1の光導波路12aを導波された入射光の一部を透過させて第1の光導波路12bに導波させるとともに、入射光の一部を反射して第2の光導波路13に導波させる部分反射・部分透過機能を有する光学素子15を形成したので、Y分岐導波路のように複雑なテーパー形状の光導波路部分、大半径の曲線導波路部分を要せず、光出力端部は光ファイバが接続できるように分離され、形状は従来の部品に比べ小型になる。

【0037】また、反射膜を挿入する溝は約30μm幅であり、導波路幅5〜10μm、光ファイバ径125μmとすれば、その作業性を考慮しても、1mm角以下の部品とすることができる。極限として、接続する光ファイバの径に相当する125μm角の小型の部品とすることができる。これは、従来の分岐基板の1/100以下の大きさとなり、一枚の材料基板から製作される部品数はその逆数倍になり、一個当たりのコストは大きく低減する。また、比較的大きな交差角で製作されることから、分岐部の形状は比較的容易に得られる。また、損失、分岐比といった部品の特性は、部分透過・部分反射膜に依

存することから、特性の管理が容易になる。

【0038】また、外部回路との接続は、上記のように光ファイバを直接接続することが可能であり、さらに、基板端面の導波路開口に直接受光素子や発光素子を接着することも可能である。また、本基板は比較的小さいことから、取り扱いを容易にするために、この基板を支えるこの基板より大きく安価な支持基板にこの基板を固定して、その支持基板にV溝を設けて光ファイバを接続したり、その支持基板に受光素子や発光素子を固定して、導波路と固定することも可能である。勿論、その支持基板に電気配線を設けて受発光ユニットとすることもできる。

【0039】さらに、本光分岐導波路は、その機能の基本となる1×2の光分岐導波路回路として用いられることは当然であるが、この機能を基板上に複数配置した1×Nの光分岐導波路回路、他の光導波路回路と複合した光導波路回路、これに電気光学効果、圧電効果、表面弾性波効果を利用した光機能デバイスにも利用できる。

【0040】また、この技術の最も効果的な実施形態は、直交導波路とこれに45度に交差する半透過・半反射膜からなる光3dB分岐基板である。この場合、入出力の光ファイバが接続される辺は直交または平行な正方形（矩形）となり、光ファイバの接続も容易である。

【0041】なお、上述した実施形態においては、1×2の光分岐導波路について述べたが、たとえば図4に示すような1×4の光分岐導波路20、あるいは図5に示すようなマツハツェンダ型光変調器30、あるいは他の従来の光導波路回路と一枚の基板の中で組み合わせた光導波路回路を構成することができる。

【0042】図4に示す1/4光分岐導波路20において、21は基板、22a、22b、22c、23a-1、23a-2、23a-3、23a-4、23b-1、23b-2は光導波路、24a〜24eは溝、および25a〜25cは光学素子としての半透過反射膜、25d、25eは光学素子としての反射膜をそれぞれ示している。この1/4光分岐導波路20では、光導波路の交差角は90度で、溝24a〜24eは直交導波路と45度の角度をもって形成されている。

【0043】この1/4光分岐導波路20においては、入射光INが光導波路22aに導波される。この入射光は、光導波路22aを伝搬して溝24aに挿入されている光学素子としての半透過反射膜25aに到達する。半透過反射膜25aでは、導波光の一部が透過して（直進して）光導波路22bに導波され、残りの導波光の一部または全部は反射されて光導波路23a-1に導波される。半透過反射膜25aを透過した導波光は光導波路22bを伝搬して溝24bに挿入されている半透過反射膜25bに到達する。そして、半透過反射膜25bでは、導波光の一部が透過して（直進して）光導波路22cに導波され、その他端面から第1の分岐光DO1として出

射される。また、光導波路 22b の残りの導波光の一部または全部は半透過反射膜 25b で反射されて光導波路 23b-1 に導波され、溝 24e に挿入されている反射膜 25e に到達し、ここで反射されて光導波路 23b-2 に導波されて、その他端面から第 2 の分岐光 DO2 として出射される。

【0044】また、半透過反射膜 25a で反射され光導波路 23a-1 に導波された光は、溝 24c に挿入されている半透過反射膜 25c に到達する。そして、半透過反射膜 25c では、導波光の一部が透過して（直進して）光導波路 23a-2 に導波され、その他端面から第 3 の分岐光 DO3 として出射される。また、光導波路 23a-1 の残りの導波光の一部または全部は半透過反射膜 25c で反射されて光導波路 23a-3 に導波され、溝 24d に挿入されている反射膜 25d に到達し、ここで反射されて光導波路 23a-24 に導波されて、その他端面から第 4 の分岐光 DO4 として出射される。

【0045】以上のように、本発明に係る光分岐導波路を用いて、小型化を実現でき、従来と略同一のプロセスで高い収量が得られ、また設備の一素子当たりの稼働効率が向上し、さらには歩留りを向上でき、低コスト化を実現できる等の利点を有する 1/4 光分岐導波路 20 を構成することができる。

【0046】また、図 5 に示すマッハツェンダ型光変調器 30 において、31 はたとえば電気光学効果を有する基板、32a、32b、33a~33d は光導波路、34a~34d は溝、35a、35d は光学素子としての半透過反射膜、35b、35c は光学素子としての反射膜、および 36a~36c は電極をそれぞれ示している。このマッハツェンダ型光変調器 30 においても、光導波路の交差角は 90 度で、溝 34a~34d は直交導波路と 45 度の角度をもって形成されている。

【0047】マッハツェンダ型光変調器 30 においては、入射光 IN が光導波路 32a に導波される。この入射光は、光導波路 32a を伝搬して溝 34a に挿入されている光学素子としての半透過反射膜 35a に到達する。半透過反射膜 35a では、導波光の一部が透過して（直進して）光導波路 32b に導波され、残りの導波光の一部または全部は反射されて光導波路 33a に導波される。半透過反射膜 35a を透過した導波光は、光導波路 32b を伝搬して溝 34b に挿入されている反射膜 35b に到達し、ここで反射されて光導波路 33b に導波され、光導波路 33b を伝搬して半透過反射膜 35d に到達する。また、半透過反射膜 35a で反射され光導波路 33a に導波された光は、光導波路 33a を伝搬して溝 34c に挿入されている反射膜 35c に到達し、ここで反射されて光導波路 33c に導波され、光導波路 33c を伝搬して半透過反射膜 35d に到達する。そして、半透過反射膜 35d では、光導波路 33b の伝搬光の一部が反射されて光導波路 33d に導波され、また光導波

路 33c の伝搬光の一部が透過して（直進して）光導波路 33d に導波される。すなわち、光導波路 33b の伝搬光と光導波路 33c の伝搬光とが合波される。

【0048】ところで、マッハツェンダ型光変調器 30 では、たとえば電極 36a と電極 36b との間、または電極 36c と電極 36b との間に所定の電圧が印加される。これにより、基板 31 において電気光学効果が発現され、光導波路 32b または光導波路 33c の屈折率が変化して半透過反射膜 35a で 2 つに分岐された光に対して、半透過反射膜 35d に到達するまでの光路差、すなわち位相差が与えられる。この位相差が与えられた 2 つの光が半透過反射膜 35d で合波されて、変調光 MO として出射される。

【0049】以上のように、本発明に係る光分岐導波路を用いてマッハツェンダ型光変調器 30 が構成できる。

【0050】なお、以上説明した実施形態においては、光導波路基板表面にも光学薄膜が形成されることになるが、図 5 のマッハツェンダ型光変調器のように、基板表面に電極 36 等を有する場合には、光導波路基板表面の光学薄膜を除去しておかなければならない場合がある。このような場合には、従来のように薬品を用いる湿式エッチングやプラズマによる乾式エッチングによりエッチング除去する方法を採ることができるが、この場合、導波路基板へのダメージが危惧される。

【0051】しかし、以下に示す方法により導波路基板へダメージを与えることなく、基板表面の光学薄膜除去を確実に行うことができる。

【0052】すなわち、光学薄膜を、蒸着またはスパッタリングによって形成する際、あらかじめ光導波路基板の表面に剝離可能な膜を形成しておく。次いで、溝加工を行った後、図 6 (a) に示すように、光学薄膜が溝 14 の側面 14a に形成されるように、光導波路基板 11 を傾斜させてこれを蒸着またはスパッタリングする。しかる後、図 6 (b) に示すように、光導波路基板表面の膜をその上の光学薄膜とともに剝離除去する。このとき、剝離する膜として、たとえば水溶性の有機膜等を用いれば、水洗による剝離が可能で、基板に与える影響もほとんど考慮することなく、光学薄膜の除去が可能となる。

【0053】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、従来の光分岐導波路に較べ小さくでき、ひいては光導波路部品の小型化を実現できる。その結果、従来と略同一のプロセスで高い収量が得られ、また設備の一素子当たりの稼働効率が向上し、低コスト化を実現できる。また、小型化によりプロセスの均一性の要求度が、従来の分岐に比較して低下し、その結果歩留りが向上し、この点でも低コスト化を実現できる。また、鋭い屈曲部、曲線部がないことから、ホトリソグラフィ工程の加工精度が緩和され、設備の低価格化、歩留りの向上によりコス

トを低減できる。さらに、分岐特性が導波路の複雑な形状に依存せず、別プロセスで製作される光学薄膜に依存するので、特性の管理が容易で、特性の均一化、性能の向上を図れる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る光分岐導波路の実体構成を示す斜視図である。

【図 2】本発明に係る光分岐導波路の実体構成を示す上面図である。

【図 3】本発明に係る製造方法を説明するための図である。

【図 4】本発明に係る光分岐導波路の応用例を示す図で、1×4 光分岐導波路の一例を示す図である。

【図 5】本発明に係る光分岐導波路の応用例を示す図で、マッハツェンダ型光変調器の構成例を示す図である。

【図 6】本発明に係る他の製造方法を説明するための図である。

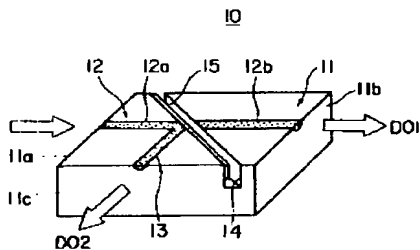
【図 7】Y 分岐導波路の構成例を示す図である。

【図 8】Y 分岐導波路の長さ特性を説明するための図である。

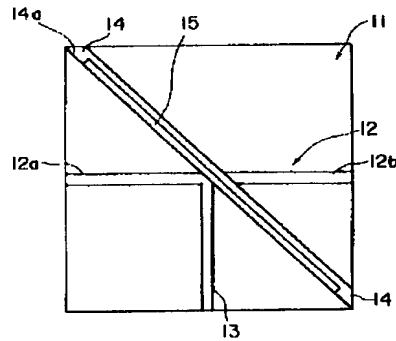
【符号の説明】

- 10…光分岐導波路
- 11…基板
- 12, 12a, 12b…第1の光導波路
- 13…第2の光導波路
- 14…溝
- 15…部分反射・部分透過機能を有する光学素子
- 20…1/4 光分岐導波路
- 21…基板
- 22a, 22b, 22c, 23a-1, 23a-2, 23a-3, 23a-4, 23b-1, 23b-2…光導波路
- 24a~24e…溝
- 25a~25c…光学素子としての半透過反射膜
- 25d, 25e…反射膜
- 30…マッハツェンダ型光変調器
- 31…基板
- 32a, 32b, 33a~33d…光導波路
- 34a~34d…溝
- 35a, 35d…光学素子としての半透過反射膜
- 35b, 35c…反射膜
- 36a~36c…電極

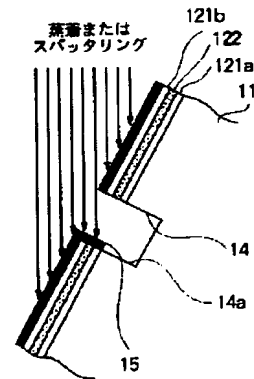
【図 1】



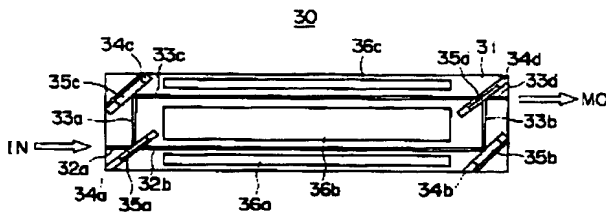
【図 2】



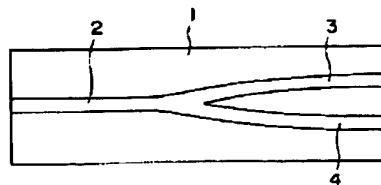
【図 3】



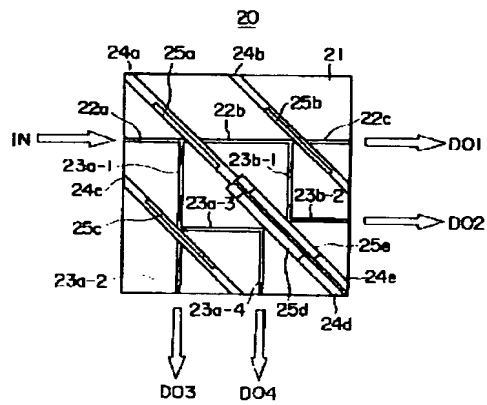
【図 5】



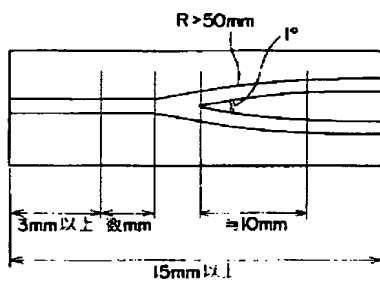
【図 7】



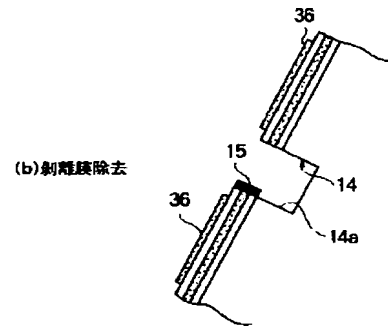
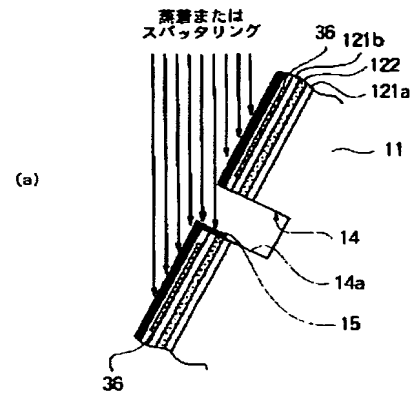
【図 4】



【図 8】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 久保田 靖博  
茨城県つくば市和台25 エヌオーケー株式  
会社内

(72)発明者 牛島 慎二  
茨城県つくば市和台25 エヌオーケー株式  
会社内